

Személyautó karosszéria hajlító és torziós rezgésének vizsgálata

Investigation of bending and torsional vibration of a carrosserie

VEHOVSZKY Balázs PhD docens ¹, GAZDAGH Zoltán senior fejlesztőmérnök ²,
LÁSZLÓ Levente hallgató ³

¹ Széchenyi István Egyetem, Járműfejlesztési Tanszék, H-9026 Győr, Egyetem tér 1.,
+36 96 503 400, vehovszky.balazs@sze.hu, jft.sze.hu

² Audi Hungaria Zrt., Járműfejlesztés részleg, H-9027 Győr, Audi Hungária út 1.,
+36 96 661 000, zoltan.gazdag@audi.hu, audi.hu/hu

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanika Tanszék,
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., laszlo.levente00@gmail.com, www.mm.bme.hu

Kivonat

A járművek komfortja és dinamikai viselkedése szempontjából egyaránt fontos hajlító és torziós rezgések vizsgálatára egy egyedi kiértékelési metódus került kidolgozásra, amely az elterjedt modálanalízis eljárásnál egyszerűbb, gyorsabb és általánosabb eredményeket szolgáltat. A módszer segítségével egy hatékony áttekintést kapunk a karosszéria dinamikai viselkedéséről, ami a későbbi részletes analízis eredményeinek értelmezésében is segít. Kiinduló adatként ugyanazon átviteli függvényeket (FRF) használjuk, mint amiket például a modálanalízis. A módszerhez egyedi kiértékelő szoftver is kifejlesztésre került.

Kulcsszavak: torziós és hajlító rezgés, rezonancia, dinamikai analízis, járműkomfort, rezgésmérés

Abstract

A unique method was developed for the evaluation of the torsional and bending vibration behavior of a chassis – which has obvious impact on the comfort and dynamic characteristics of the vehicle. This process is faster, simpler and gives more general results than the widely used modal analysis method; and one can earn a good overview of the dynamic behavior of the chassis, which helps the interpretation of the results of a further, more detailed evaluation. The same frequency response functions (FRFs) were used as input data, as for modal analysis. A self-made evaluation software was also created based on the developed method.

1. BEVEZETÉS

A személyautókkal szemben támasztott vevői igények egyre magasabb szintre kerülnek – az utóbbi néhány évtizedben már sokkal több és magasabb elvárást támaszt egy vásárló a leendő autójával szemben, minthogy megbízhatóan eljuttassa A-ból B-be. A vevői igények az autó kényelmétől kezdve a biztonságon át az információs és szórakoztató rendszerig rendkívül széles spektrumot fednek le manapság. Ebbe a körbe szervesen beletartozik a rezgés- és zajkomfort is. Utóbbinak sarkalatos pontja a karosszéria rezonanciaalakjainak és -frekvenciáinak megfelelő hangolása, melyek közül legkritikusabb az első hajlító és torziós rezonancia. Ezek jellemzően a 25-40 Hz tartományba esnek, és például az alapjáratú karosszériarezgés alapvetően befolyásolják [1].

A szerkezetek dinamikai viselkedésének (angol szakkifejezéssel NVH: noise, vibration, harshness azaz zaj, rezgés és „durvaság”) egy hatékony vizsgálati módszere a modálanalízis [2], mely szimulációval és mérési adatokból is elvégezhető. Eredményként a vizsgált rendszer sajátfrekvenciáit (rezonanciafrekvenciák), az ezekhez tartozó rezgésalakokat és csillapításokat adja meg. A modálanalízis hatékony és széles körben használt módszer, azonban egy olyan összetett szerkezetnél, mint például egy összeszerelt járműkarosszéria (ún. Trimmed Body) sok mérési (vagy szimulációs) bemenő adat kell hozzá, a számítás elvégzése sok időt és tapasztalatot igényel és az eredmények értékelése sem mindig könnyű. Ha a célunk csupán a karosszéria hajlító és torziós rezonanciáinak vizsgálata, a modálanalízist

segítheti vagy akár teljes egészében ki is válthatja a következőkben bemutatott mérési-kiértékelési eljárás, mely gyors, objektív, és nem kell hozzá más bemenő adat, mint ami a modálanálízishez amúgy is szükséges.

2. MÉRÉSI ELV

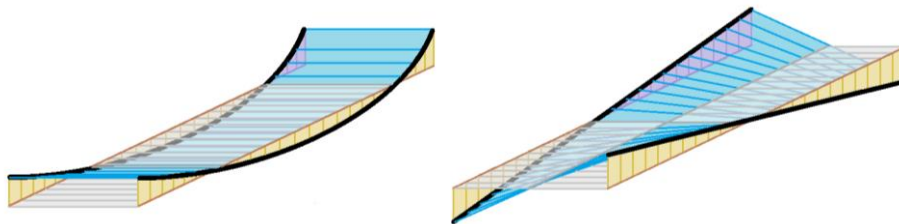
A járműkarosszéria globális mozgását hűen nyomon követhetjük, ha a vázszerkezet két fő hossztartójának a mozgását figyeljük (ld. 1. ábra). Mivel jelen vizsgálat célja kizárólag a globális torziós és hajlító lengések azonosítása, csak ezen hossztartók mozgását vesszük figyelembe (ellentétben egy teljes modálanálízis elemzéssel, ahol több mint száz karosszériapont mozgását mérjük és elemezzük).



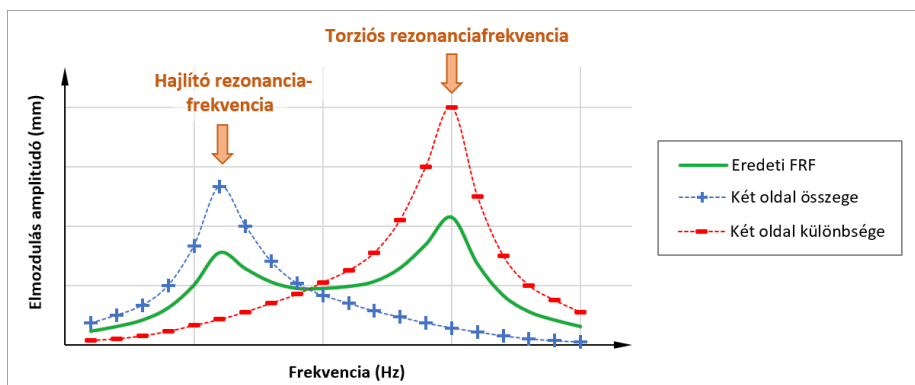
1. ábra A személyautó karosszéria két fő hossztartója, amin a mérési pontok elhelyezkednek, valamint a gerjesztések helye nyilakkal jelölve [3,4]

A mérés eredményeként a gerjesztési- és a hossztartón definiált válaszmérési pontok közötti átviteli függvényeket (frequency response function, FRF) kapjuk meg, amik megmutatják, hogy egységnyi gerjesztés (1 N) esetén mekkora gyorsulást kapunk eredményül az adott pontokban a gerjesztési frekvencia függvényében – harmonikus gerjesztés mellett. (A Fourier-transzformáció lehetővé teszi, hogy bármely gerjesztést harmonikus összetevőkre bontsunk, és mivel a rendszer lineáris, a válasz a harmonikus összetevőkre adott válaszok összege lesz – ezt az elvet nagyon gyakran használják különböző rendszerek dinamikai vizsgálata során.)

A válaszjel tehát gyorsulás, azonban ennek idő szerinti kettős integrálásával – ami frekvencia-tartományban egyszerű: $-1/\omega^2$ -tel való szorzást jelent – elmozdulást kapunk. Rezonancia esetén az elmozdulások jelentősen nagyobbak, mint általános esetben, így a rezonanciafrekvenciák jól azonosíthatók az FRF görbék maximum értékeinél. Azt viszont, hogy melyik rezonanciaalakról van szó, egy FRF-ből még nem tudjuk meg. Azonban ha a két hossztartó elmozdulásait együtt elemezzük, ezt is meg tudjuk határozni a következő módon: Hajlító lengés esetén a két oldali hossztartó pontjainak elmozdulása megegyező, míg torziós lengés esetén ellentétes – lásd 2. ábra. Ha tehát ezen szemközti pontok elmozdulásait előjelesen összeadjuk, az elmozdulások hajlító lengés esetén duplázódnak, míg torziós lengés esetén kioltják egymást. Viszont ha a szemközti pontok előjeles elmozdulásait kivonjuk egymásból, akkor hajlító lengés esetén kapunk (közel) 0 elmozdulást, míg torziós lengés esetén az elmozdulások összeadódnak. Ezt jól szemlélteti a 3. ábra.



2. ábra Az első hajlító- (bal) és torziós rezonanciaalak (jobb) vizualizációja a hossztartók deformációjával



3. ábra A kétoldali elmozdulás előjeles összeadásából és kivonásából adódó eredő válaszfüggvények

A kétoldali FRF-ek összegéből tehát könnyen leolvasható a hajlító rezonanciafrekvencia, míg azok különbségéből a torziós rezonanciafrekvencia. A kiértékelést tovább javítja, ha ezt nem csak egy pontpárral tesszük meg, hanem az autó hossza mentén az összes mért ponttal – így az összegek (hajlítás) illetve különbségek (torzió) értékeit a frekvencia mellett a vizsgált pont hosszmenti koordinátájának függvényében is ábrázolhatjuk, szintérképen (ld. 5. ábra bal oldal). Ezen szintérképek függőleges metszékei pedig megadják az autó deformációjának mértékét a hossz tengely mentén egy adott frekvencián: az ún. hajlítási- illetve torziós vonalakat (ld. 5. ábra jobb oldal).

3. VIZSGÁLATI ELRENDEZÉS, MÉRÉS MENETE

A dinamikai viselkedés vizsgálatához szükség van gerjesztésre és válaszmérésre. Jelen esetben a gerjesztés elektrodinamikus rázókkal (TIRA 51110 shaker) történik, melyek a hosszstartók első részén, függőleges irányban vannak stingerek segítségével a karosszériához csatlakoztatva [5] (ld. 1. ábra Exc). A bekötési pontokban impedanciamérőkkel (PCB 288D01) monitorozzuk a bevitt erő- és gyorsulásjelet. A gerjesztő jel fehér zaj, mely a vizsgált frekvenciatartományon belül minden frekvenciaösszetevőt egyformán tartalmaz. A vizsgált pontokban a rezgésválaszt háromirányú piezo gyorsulásmérőkkel mérjük (PCB 356B08). Mivel minden gyorsulásmérő a globális koordinátáirányoknak megfelelően került felhelyezésre, a vizsgálatához elegendő a függőleges irányú gyorsulásadatokat figyelembe venni.

A vizsgáló gerjesztő jelet, valamint a vizsgált pontokban rögzített gyorsulásmérők válaszeljét LMS Scadas Mobile mérő-adatgyűjtő egységgel monitorozzuk, előszűrjük, és a mérőszoftver (LMS Test.Lab) segítségével feldolgozzuk és rögzítjük a számunkra fontos átviteli függvényeket (FRF-eket).

Annak érdekében, hogy csak a szerkezet dinamikai viselkedéséről kapjunk információt annak rögzítésétől és a környezetétől függetlenül, ún. free-free rögzítést kell a karosszériának biztosítani, ami azt jelenti, hogy a vizsgált frekvenciatartományban legyen a környezetétől izolálva. Ezt kis merevségű légrugókra való rögzítéssel tudjuk a legegyszerűbben megvalósítani. A rögzítésből adódó merevtest-szerű mozgások frekvenciája így a 3-5 Hz tartományba esik, az e fölötti frekvenciákon a vizsgált rendszer a környezetétől függetlenül fog viselkedni.



4. ábra A méréshez használt eszközök: Siemens LMS Scadas Mobile frontend, Tira 51110 shaker, PCB 288D01 impedancia szenzor és PCB 356B08 triaxiális gyorsulásmérő

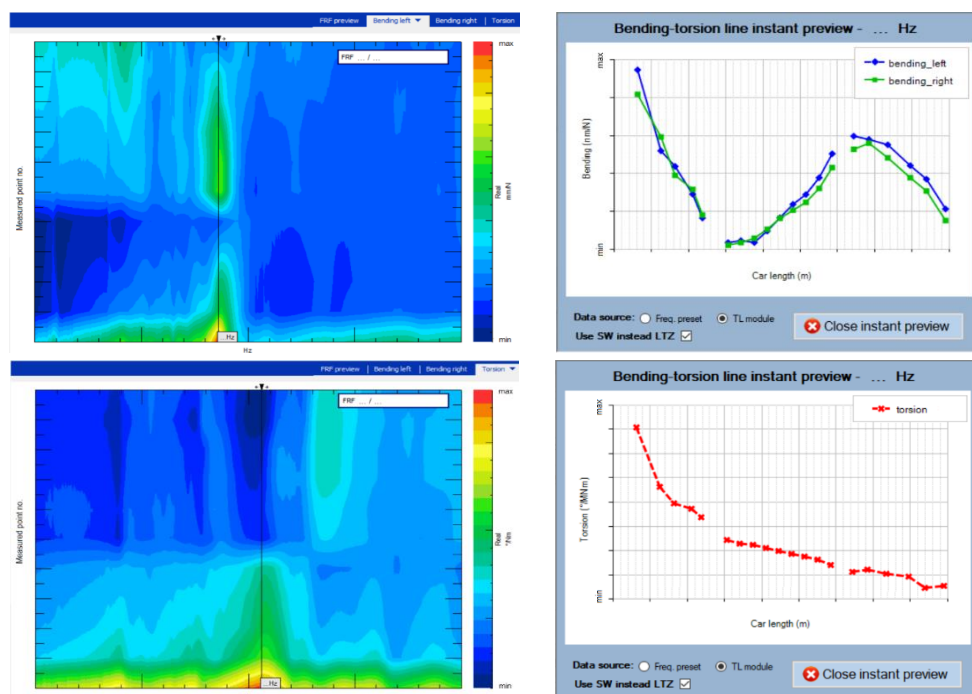
Az adatok feldolgozását korábban manuálisan, az LMS Test.Lab mérőszoftver és Microsoft Excel táblázatkezelő segítségével végeztük, azonban a lényegesen gyorsabb és rugalmasabb feldolgozás, a személyi szubjektivitás és hibalehetőségek kiszűrése céljából készítettünk hozzá egy feldolgozó

szoftvert. Ez – a Test.Lab szoftver automatizálási lehetőségeit kihasználva – közvetlenül a mérési fájlból olvassa be a szükséges FRF-eket, és néhány szükséges beállítás után automatikusan kiszámolja a szintértékeket, valamint a torziós és hajlítási görbéket a megadott frekvenciatartományon belül, a méréseknek megfelelő frekvenciafelbontással – ennek eredményeit mutatjuk be a következőkben.

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, KONKLÚZIÓK

Az 5. ábra egy tipikus vizsgálati eredményt mutat (ipari titoktartás miatt konkrét számértékek nélkül). A baloldali szintértékeken jól láthatóan kirajzolódnak a főbb rezonanciafrekvenciák, míg a jobboldali előnézet-ablakban ellenőrizni tudjuk az adott frekvencián számolt hajlítási- és torziós vonalakat. Az ábrák a saját készítésű szoftverből származnak, amely nem csak legenerálja a bemutatott diagramokat, hanem intelligens kiértékeléssel meg is keresi a potenciális szélsőértékeket (rezonanciafrekvenciákat), amelyeket ezután manuálisan is ellenőrizhetünk. A tapasztalatok alapján ezek a frekvenciák jó egyezést mutatnak a modálanalízis során kapott rezonanciafrekvenciákkal, a hajlítási és torziós vonalak pedig segítenek a globális rezonanciák biztosabb azonosításában.

Az ipari felhasználó visszajelzései alapján a szoftveres kiértékelés nagyságrendekkel meggyorsította a mérési adatok feldolgozását, a szoftver további képességei pedig számottevően nagyobb rugalmasságot ad a korábbi manuális kiértékelési eljáráshoz képest.



5. ábra Diagramok az egyedi kiértékelő szoftverből: A karosszéria hajlító (fent) és torziós (lent) deformációját mutató szintértékek (baloldalt), és a jelölt (maximális értékekhez tartozó) frekvenciákon kiszámolt hajlító és torziós vonalak (függőleges metszések, jobboldalt)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát az EFOP 3.6.1-16-2016-00017 sz. pályázat támogatta („Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen”).

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] P. Zeller: Handbook Fahrzeugakustik, Springer Verlag, Wiesbaden, 2012
- [2] A. Schweighardt et al: NVH and Modal Analysis in Vehicle Industry, Perner's Contacts XIX/2 2019
- [3] <https://3d-car-shows.com/20-years-audi-space-frame-started-frankfurt-motor-show/> (2020.01.20.)
- [4] <https://www.carbuyer.co.uk/reviews/audi/a6/saloon/review> (2020.01.20.)
- [5] B. Vehovszky et al: Potential errors of acoustical testing induced by stinger excitation, Proceedings of ICSV25